

Раздел 2

Способы получения искусственного холода

1. Общие положения

В отличие от **Естественного охлаждения**, где эффект достигается за счет теплообмена с окружающей средой, при **Искусственном охлаждении** используют специальные устройства, работа которых осуществляется с затратой энергии.

Охлаждающий эффект при **Искусственном охлаждении** достигается применением следующих физических явлений:

- **Изменение агрегатного состояния** (фазовые превращения), с поглощением тепла (плавление, кипение, сублимация);
- **Расширение сжатого газа** с отдачей внешней работы;
- **Расширение газа или жидкости путем дросселирования** (эффект Джоуля-Томпсона);
- **Вихревой эффект** (эффект Ранка);
- **Термоэлектрическое охлаждение** (эффект Пельтье);
- **Размагничивание твердого тела** (магнитно-калорический эффект);
- **Десорбция газов.**

2. Охлаждение при изменении агрегатного состояния тела

Переход однородного тела из одного агрегатного состояния в другое называется *Фазовым превращением*.

Фазовые превращения однородных тел (плавление, кипение, сублимация) происходят при постоянной температуре, зависящей от условий перехода и физических свойств тела, и сопровождаются выделением или поглощением скрытой теплоты.

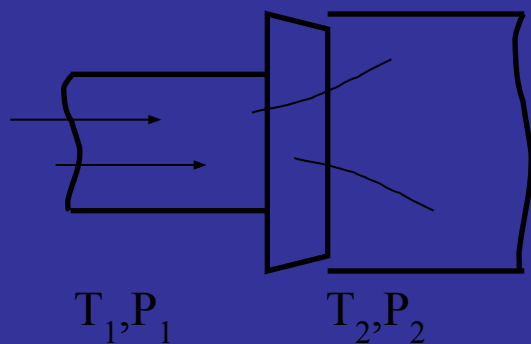
Плавление – переход тела из твердого состояния в жидкое при подводе к нему необходимого количества тепла. Применяется при охлаждении тела выше 273 К (плавление водного льда).

Кипение – процесс интенсивного образования пара при нагревании жидкости. Теплота парообразования используется в паровых компрессионных, парожетторных и абсорбционных машинах. Охлаждающий эффект может быть получен при интенсивном испарении воды, например при 273 К теплота парообразования составляет 2500 кДж/кг. Для более низких температур используют холодильные агенты.

Сублимация или *возгонка* – процесс перехода тел из твердого состояния в парообразное. Таким свойством обладает углекислота. Сублимирующая твердая углекислота называется «сухим льдом» (195 К).

3. Охлаждение при расширении газов

Расширение сжатого идеального газа с отдачей внешней работы сопровождается понижением температуры. Расширение реального газа требует затрат дополнительной работы и эффект охлаждения достигается в результате преобразования внутренней энергии в работу против внешних и внутренних сил.



$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}},$$

T_1, P_1 – температура и давление до расширения; T_2, P_2 – температура и давление после расширения; n – показатель политропы расширения.

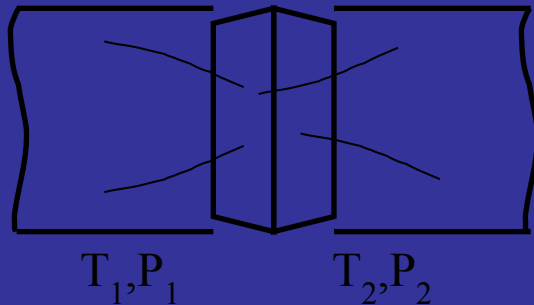
Расширение широко применяется в области глубокого холода, в воздушных машинах, а также в торговой и бытовой технике.

Преимущество способа: простота конструкции расширительных устройств.

Недостаток: сравнительно невысокая холодопроизводительность.

4. Охлаждение при дросселировании

Дросселирование – резкое снижение давления и температуры при пропускании жидкости или газа через сужающееся отверстие.



Изменение температуры при дросселировании называется эффектом Джоуля-Томпсона. При бесконечно малых изменениях температуры – дифференциальный эффект:

$$a_i = \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_i,$$

При больших изменениях температуры – интегральный эффект:

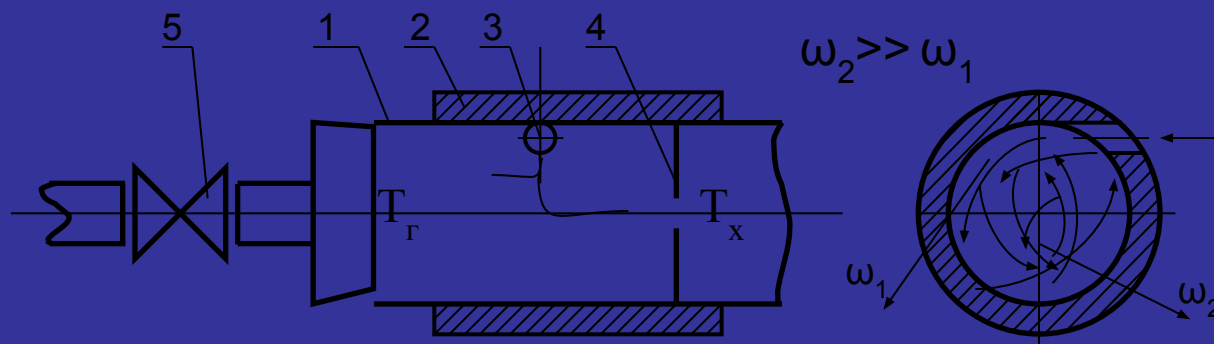
$$T_2 - T_1 = \int_{P_1}^{P_2} \left[\frac{\partial T}{\partial P}\right]_i \cdot dp = \int_{P_1}^{P_2} a_i \cdot dp. \quad \text{или} \quad a_i = \frac{1}{C_p} \cdot \left[T \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p - V \right].$$

Температура понижается при $(\partial V/\partial T)_p > V/T$ и $(T_2 - T_1) < 0$; При нагревании $a_i < 0$ и $T(\partial V/\partial T)_p < V$; Нулевой эффект $a_i = 0$ и $T(\partial V/\partial T)_p = 0$.

Точка с нулевым эффектом Джоуля-Томпсона называется точкой инверсии, а геометрическое место таких точек – кривая инверсии.

Преимущество: высокая холодопроизводительность; недостаток – потери энергии в сужающемся отверстии. Дросселирование применяется в технике умеренного и глубокого охлаждения, чаще всего в виде различного рода вентилях.

5. Вихревой эффект



Вихревая труба Ранка:
1 – корпус трубки; 2 – теплоизоляция; 3 – сопло; 4 – диафрагма; 5 – вентиль

Сжатый газ подается через сопло в поперечном сечении трубки. Вихрь, образующийся в трубе, имеет малую угловую скорость на периферии и очень большую у оси трубы ($\omega_2 \gg \omega_1$). По мере движения одного потока к вентилю, вследствие сил трения между газовыми слоями, его скорость становится постоянной и во внутренних слоях уменьшается, а во внешних возрастает. Происходит передача кинетической энергии внутренних слоев к внешним, повышая их температуру T_r , а внутренние слои при этом охлаждаются T_x . Нагретые внешние слои газа выходят через вентиль – горячий поток, а охлажденные внутренние в сторону диафрагмы – холодный поток.

Вихревой эффект применяется для получения небольших количеств холода.

Преимущество способа: простота конструкции, надежность.

Недостаток: сравнительно невысокая холодопроизводительность.

6.Термоэлектрическое охлаждение

Способ основан на том, что при прохождении электрического тока через цепь с разнородными проводниками, образуются холодный T_x и горячий T_r спаи. Холодный спай поглощает тепло, а горячий – отдает (эффект Пельтье).

Поглощенное или выделенное тепло прямо пропорционально силе тока:

$$Q_{\Pi} = \Pi \cdot I,$$

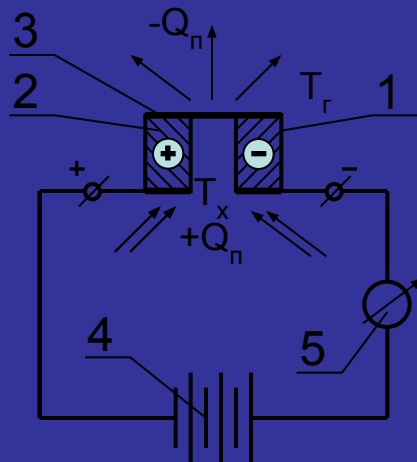
где Π – коэффициент Пельтье (учитывает разнородность проводников).

Если в цепи, в месте контакта создать искусственно различные температуры, то между контактами возникнет разность потенциалов и по цепи пойдет ток

(эффект Зеебека). Возникающая в этом случае термоэлектродвижущая сила пропорциональна созданной разности температур:

$$E = \alpha \cdot (T_r - T_x),$$
 где α – коэффициент Зеебека, коэффициент термоЭДС.

Способ применяется в кулерах компьютеров и для охлаждения/нагрева воды. Преимущество: простота конструкции и бесшумность. Недостаток: высокий расход электроэнергии и маленькая холодопроизводительность.



- 1,2 – полупроводники;
- 3 – медная пластина;
- 4 – конденсатор;
- 5 – сопротивление

7. Магнитно-калорический эффект

В 1881 г. немецкий физик Эмиль Варбург поместил в магнитное поле кусочек железа, он отметил повышение его температуры. После удаления из магнитного поля металл остывал, и температура возвращалась к первоначальной. Благодаря работам физиков Питера Дибая и Уильяма Джайка этот магнитно-калорический эффект использовался с 30-х годов прошлого века для охлаждения в специальных сосудах различных физических проб до температур, всего на нескольких десятых градуса выше абсолютного нуля ($-273,15^{\circ}\text{C}$). Охлаждение удавалось поддерживать небольшой период, но его вполне хватало для проведения опытов.

МКЭ возникает потому, что в магнитном поле микромагниты материала, которые можно представить как множество магнитных стержней, располагаются определенным образом. В результате в структуре материала возникает более высокий порядок, магнитная энтропия становится меньше, и увеличивается термическая энтропия - повышается температура. Материал нагревается. А если его удалить из магнитного поля, происходит обратный процесс: магниты теряют упорядоченность, и образец охлаждается.

Это явление можно использовать для создания холодильных установок нового типа.

Главное преимущество аппаратов для магнитного охлаждения связано с высокой плотностью материала - твердого тела - по сравнению с плотностью пара или газа. Это позволяет делать более компактные холодильники, используя в качестве теплоносителя магнитный материал. Такое рабочее тело служит аналогом хладагентов, используемых в традиционных холодильных установках, а процесс размагничивания-намагничивания напоминает привычный цикл сжатия-расширения газа.

8. Десорбция газов

Получение холода путем десорбции газов из растворов используется широко в циклах водо-аммиачных абсорбционных холодильных машин и в разомкнутых холодильных системах с использованием растворов углекислоты в этиловом спирте. Наибольшее применение данный способ находит в нефте-химической промышленности.

В данном случае, выделение газа из жидкости, как и испарение, сопровождается резким увеличением объема и отводом тепла растворения.

Более сложные способы получения искусственного холода связаны с использованием аппаратно-ёмкого холодильного оборудования, в основу работы которого положены законы термодинамики.

$$\text{1 - ый закон : } dQ = dU + dL,$$

Количество теплоты, подведенное к телу dQ расходуется на изменение его внутренней энергии dU и совершение внешней работы dL .

$$\text{2 - ой закон : } dQ = dQ_0 + dL,$$

Для того, чтобы передать теплоту от менее нагретого тела к более нагретому, необходимо совершить (затратить) работу.